UEBER QUERE

NERVENDURCHSTRÖMUNG.

INAUGURAL-DISSERTATION,

WELCHE

UNTER ZUSTIMMUNG DER HOCHLÖBLICHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT ZU MARBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

IN DER

MEDICIN, CHIRURGIE UND GEBURTSHUELFE EINREICHT

UND

FREITAG, DEN 3. MÄRZ 1876, VORMITTAGS 10 UHR

ÖFFENTLICH VERTHEIDIGEN WIRD.

ADOLF FICK AUS MARBURG.

WÜRZBURG.

DRUCK UND VERLAG DER STAHEL'SCHEN BUCH- & KUNSTHANDLUNG.

1876.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554412_0028

Es ist eine bekannte Thatsache der Physiologie, dass ein Froschmuskel um so leichter in Zuckung geräth, je kleiner der Winkel ist, unter dem sein Nerv von einem als Reiz wirkenden elektrischen Strome durchflossen wird.

du Bois-Reymond hat hieraus den Schluss gezogen, dass die Reizbarkeit des Nerven durch einen elektrischen Strom etwa eine Cosinusfunction des Winkels zwischen Nerv und Stromrichtung sei, d. h. gleich Null werde, wenn der Strom senkrecht auf die Axe des Nerven treffe. Nun ist es freilich wohl noch Niemandem gelungen, eine Versuchsreihe anzustellen, in der ein Nerv auch überaus kräftigen ihn senkrecht treffenden Strömen gegenüber reactionslos geblieben wäre. Aber es lag nahe, gegen einen hieraus zu entnehmenden Einwand gegen die Folgerung *du Bois-Reymond*'s geltend zu machen, dass es niemals gelingen könne, alle Primitivfasern eines Nervenstammes völlig paralell zu machen und von lauter unter sich paralellen Stromfäden genau senkrecht durchsetzen zu lassen. Man hat desshalb auf den directen Beweis der Unwirksamkeit querer Durchströmung ganz verzichtet und eine indirecte Bestätigung jenes Satzes dadurch zu gewinnen versucht, dass man Ermittelungen über das Verhalten eines Nerven anstellte, den man bald mehr bald weniger schief durchfliessen liess. Wenn es auf diese Weise gelang, das Gesetz zu finden, dem die Wirkungen der Richtungsänderung des Stromes folgen, so durfte man offenbar durch Interpolation das Gesetz für die Fälle ergänzen, welche

aus irgend einem Grunde sich durch das Experiment nicht erforschen liessen.

In diesem Sinne etwa hat *Bernheim* Versuche angestellt und durch theoretische sowohl als experimentelle Gründe beweisen zu können gegeglaubt, dass die zur Erzielung des gleichen Effectes nöthigen Stromstärken wirklich genau umgekehrt proportional seien dem Cosinus des Winkels zwischen Stromrichtung und Nervenaxe. Allein eine Kritik von *Hermann* hat mit Bestimmtheit nachgewiesen, dass diese Arbeit den Beweis für „das Cosinusgesetz" noch nicht erbracht hat. Es wird daher nicht ganz überflüssig sein, mit der vorliegenden Arbeit auf diese Frage zurückzukommen.

Die Versuche dieser Abhandlung wurden ursprünglich zur Lösung eines andern Problemes begonnen. Da es nemlich von vorneherein doch sehr wunderbar und unwahrscheinlich ist, dass ein auf den Nerven senkrecht treffender Strom ihn ganz ungereizt lassen sollte, er möchte noch so stark sein, so bemühte ich mich, experimentell einen Beweis dafür zu finden, dass die auch bei möglichst querer Durchströmung allerdings erst spät auftretende Zuckung doch nicht blos durch unvermeidliche Fehler zu erklären sei. Allein ganz wider Erwarten sprachen die Resultate der Versuche entschieden zu Gunsten des „Cosinusgesetzes", mithin auch für die Unwirksamkeit der queren Durchströmung. Es wird sich dies am besten mit Hülfe graphischer Darstellung der Versuchsergebnisse zeigen. Aus Gründen der Zweckmässigkeit werde ich nun nicht den Reizzustand des Nerven bei gleicher Stärke und wechselnder Richtung des Stromes, sondern die zur Erzeugung des gleichen Effectes — einer eben noch merklichen Zuckung des Muskels nemlich — nöthigen verschiedenen Stromstärken bei verschiedenen Richtungen durch das Diagramm versinnlichen. Die Einfachheit dieses Verfahrens leuchtet ohne weiteres ein; kann man doch die Stromstärken an einem graduirten Inductionsapparat sofort ablesen und als Ordinaten auf ein Stück Quadratpapier eintragen, während die Messung des Nervenreizes ohne weitere Veranstaltungen nicht möglich und mit brträchtlicheren Fehlerquellen behaftet ist. Die zugehörigen Abscissen sind gemessen durch die Anzahl der Winkelgrade, unter dem die als Ordinate abgemessene Stromstärke eine minime Zuckung auslöst. Bestimmt man nun experimentell eine Anzahl solcher Punkte, so lässt sich durch sie eine Curve legen, deren Ordinaten den physiologischen Leistungen eines in der Richtung variabelen Stromes umgekehrt proportional sind. Denn denke man sich einen electrischen Strom von beliebiger Stärke einen mit den Muskeln in Verbindung gelassenen Nerven unter gleichfalls beliebigem Winkel z. B. unter 45^0 durchsetzen, so muss

seine Wirkung auf den Nerven und secundär auf den Muskel um so kräftiger sein, je schwächer der Strom ist, welcher unter 45^0 auf den Nerven wirkend noch eine sichtbare Muskelzuckung auslösen kann; und umgekehrt, gehört ein starker Schlag dazu, um unter jenem Winkel noch einen merklichen Effect zu erzielen, so wird jener erstgedachte Strom nur eine schwache Wirkung hervorbringen. Uebrigens ist dies Princip in der Nervenphysiologie bereits allgemein anerkannt und haben schon viele Forscher den reciproken Werth der kleinsten eben noch reizenden Stromstärke als Maass der Reizbarkeit benutzt.

Ehe wir jedoch die Versuchsresultate selbst betrachten und auf mathematischen Ausdruck zu bringen suchen, wird es sich empfehlen, die Methode des Experimentirens kurz zu besprechen.

Die erste Schwierigkeit besteht darin, trotz der veränderten Richtung des Stromes nur unter sich paralelle Stromfäden zur Wirksamkeit kommen zu lassen, da bekanntlich ihre Convergenz und Divergenz von ganz wesentlichem Einfluss auf ihre physiologische Wirkung ist. Am besten schien dieser Forderung dadurch genügt zu werden, dass man ein etwa 140 mm. langes und 20 mm. breites deckelloses Glaskästchen mit Flüssigkeit füllte und die Elektroden ganz an den Enden desselben in diese Flüssigkeit, natürlich in der Mittellinie des Glastroges, eintauchen machte. Offenbar gehen dann durch die ganze Flüssigkeitssäule Stromfäden von einer Elektrode zur andern und zwar darf man wegen der relativ grossen Länge des Troges annehmen, dass im mittleren Drittel desselben nur unter sich und mit den Längswänden paralelle Stromfäden zur Entstehung kommen. Zugleich wird hierdurch ein Missstand vermieden, der bei den *Bernheim*'schen Versuchen wohl in Betracht kommen dürfte. Dieser Experimentator benutzte nemlich eine durch zarte Linien in Winkel eingetheilte Thonplatte als Electricitätsleiter; auf diese Platte legte er den Nerven in verschiedenen Richtungen abwechselnd hin. Nun ist es aber klar, dass man gar nicht übersehen kann, wie der Strom bei seinem Uebertritt aus der Ebene der Platte in den Nerven an Kraft und Richtung sich ändert; dagegen bildet bei der oben geschilderten Methode der Nerv einen integrirenden Bestandtheil, des als Electricitätsleiter dienenden Flüssigkeitsprismas. Eine zweite Schwierigkeit liegt darin, beim Uebergang des Stromes aus der Flüssigkeit in den Nerven eine Aenderung der Widerstände zu vermeiden. Hierzu schien eine Füllung des Troges mit der bei physiologischen Arbeiten so häufig verwendeten $6^0/_{00}$ Kochsalzlösung besonders geeignet. Denn der Nerv, dessen feste Bestandtheile Electricität wenig oder gar nicht leiten, ist wie alle thierischen Gewebe mit einer annähernd ebenso zusammengesetzten Flüssigkeit durchtränkt. Man darf

sich also vorstellen, dass der Strom auf seinem Weg von einer Elektrode zur andern ebensolche Widerstände zu überwinden hat, als ob der Trog weiter gar nichts als 6 $^0/_{00}$ Kochsalzlösung enthielte. Eine Vereinfachung der bis jetzt beschriebenen Anordnung wurde in den letzten Versuchen dadurch herbeigeführt, dass die eintauchenden Drahtelektroden wegblieben und an ihrer Statt die bisherigen gläsernen Stirnplatten des Troges durch Zinkstreifen ersetzt wurden.

Der Nerv des zu prüfenden Präparates befand sich stets in der mittleren Gegend des Kästchens, und zwar wurde er quer und schräg über dasselbe hingelegt, so dass der über der Lichtung des Troges befindliche Theil durch seine eigene Schwere etwas sank und völlig in die Flüssigkeit eintauchte. An den Stellen seines Ein- und Austritts störte er also den übrigens annähernd geradlinigen Verlauf. Es mindert aber dieser Umstand den Werth der Versuche durchaus nicht, denn, wie eine einfache Ueberlegung zeigt wird er an diesen Umbiegungsstellen querer getroffen als im übrigen Verlauf; mithin wird an diesen Stellen, wie man ja von früherher schon weiss, ein geringrrer Reiz auf den Nerven ausgeübt als in der unter Wasser befindlichen Strecke. Es bleiben also diese Stellen da, wo es sich um Feststellung der kleinsten eine Muskelzuckung bewirkenden Stromstärke handelt, ganz ausser Function.

Die Richtungsänderung des Stromes wird, wie bereits angedeutet ist, nicht durch Verschiebung der Elektroden, sondern durch Umlagerung des Nerven bewerkstelligt und zwar aus dem einfachen Grunde, weil Verschiebung der Aus- und Eintrittsstelle des Stromes wegen der Schmalheit des Troges nur in engen Grenzen möglich, bei dem später angewandten Glas-Zink-Kistchen überhaupt unmöglich ist und ausserdem den Widerstand in dem Flüssigkeitsprisma unkontrolirbar vermindert hätte. Um die Grösse der Verschiebung am Nerven beobachten zu können, ist der gläserne Boden des Troges derart mit Quadratpapier beklebt, dass man, das Auge gerade senkrecht über dem Nerven, diesen über einem bestimmten Punkte des Trogbodens ein- und über einem gleichfalls markirten Punkte austreten lassen kann. Die Mitte der unter Wasser befindlichen Nervenstrecke bewahrt bei jeder Lage ihren Ort, den Durschschnittspunkt nemlich der queren und longitudinalen Halbirungslinie des Kästchens. Es begreift sich leicht, dass eine Anzahl bestimmter Lagen bei allen Versuchen wiederkehrt, indem man leicht kenntliche Punkte des untergeklebten Papierstreifen jedesmal wieder als willkommne Marke benutzt. So ist z. B. die quere Halbirungslinie des Troges mit 70 bezeichnet, d. h. diese Linie ist 70 mm. von jedem Ende des Kästchens entfernt; liegt nun der Nerv ihr paralell, so wird es von den Stromfäden gerade senkrecht durch-

setzt. Soll der Strom unter einem etwas kleineren Winkel seine Wirksamkeit entfalten, so legt man den Nerven etwa so, dass er bei 72,5 ein- und bei 67,5 austritt. Lassen wir auf diese Art den Ein- und Austrittspunkt des Nerven um je 2,5 mm. oder 5,0 mm. auf der Scala des Bodens wandern, so bekommen wir eine Reihe verschiedener Winkel, unter denen der Nerv durchflossen wird. Natürlich muss die Grösse dieser Winkel erst bestimmt werden, eine Aufgabe, die mit Hülfe von Quadratpapier, Linial und Transporteur leicht zu lösen ist.

Die übrigen Anordnungen unterschieden sich nicht von der bei ähnlichen Versuchen in den physiologischen Laboratorien allgemein gebräuchlichen Methode. Der Unterschenkel des Frosches war selbstverständlich mit dem Nerven in Verbindung gelassen und mit Hülfe einer Stahlnadel so an einem Stativ befestigt, dass man ihn ohne Mühe nach Bedürfniss verschieben konnte. Die Electricitätsquelle bildeten 2 *Grove*'sche Elemente die mit der primären Rolle eines *du Bois-Reymond*'schen Schlittens derart verknüpft waren, dass bei Schliessung eines in den Kreis geschalteten Quecksilberschlüssels ein constanter Strom zu kreisen begann. Von der secundären Rolle gingen 2 Drähte zu den Elektroden des Kästchens, nur unterbrochen von einer *Pohl*'schen Wippe. Durch diese Veranstaltung war es möglich, den Nerven bald in dieser bald in jener Richtung durchströmen zu lassen. Als Reiz wurde der Oeffnungsschlag d. h. der beim Oeffnen des Quecksilberschlüssels in der secundären Spirale inducirte Schlag benutzt und nur, wenn ausnahmsweise der Schliessungsschlag bei grösserem Rollenabstand zu einer Zuckung des Muskels führte, wurde die betreffende Stromstärke mit der besondern Notiz „S. Zuck" in die Zahlenreihe aufgenommen. Da die Stärke des inducirten Stromes im Schlitteninductorium bekanntlich nicht direct aus dem Rollenabstand abzulesen ist, so wurde der zu unsern Versuchen gebrauchte Apparat nach der *Fick*'schen Methode graduirt. Zur bequemeren Handhabung trägt man in einer Karte die durch Graduirung gefundenen Resultate als Ordinaten auf, deren Abscissen durch die entsprechenden Rollenabstände geliefert werden. Durch Interpolation und Ausziehen einer gebogenen Linie findet man eine Curve, ein treues Abbild von der Wirkung, welche eine Rollenverschiebung auf die Stromstärke im secundären Kreise hat. Man braucht dann während des Versuches nur die Lage des Nerven und den Rollenabstand aufzuzeichnen, bei dem der Oeffnungsschlag eine eben noch merkliche Zuckung auslöste, um bei gelegener Zeit, ohne Zuhülfenahme des benutzten Apparates, nur nach der Karte die Rollenabstände in Stromstärken übersetzen zu können.

Als Einwände gegen diese Methode, beziehungsweise als Fehlerquellen kann man zunächst die möglicherweise vorhandene Inconstanz des

secundären Stromes bei gleichem Rollenabstand betrachten. Ist es doch hinlänglich bekannt, dass das schnellere oder langsamere Schliessen eines Stromkreises von wesentlichem Einfluss auf die Stärke des secundären Stromes ist. Einer der vollkommensten Apparate, Schluss und Oeffnung einer Kette stets gleichmässig herbeizuführen, ist der bereits erwähnte Quecksilberschlüssel, denn der Kreis ist immer in demselben Moment geschlossen, in welchem die Berührung zwischen Quecksilber und Schlüsselstift stattfindet. Es ist mithin vollkommen gleichgültig, ob der Stift schnell oder langsam in das Metall gedrückt wird. Doch ist nicht zu übersehen, dass sich bei jeder Unterbrechung des Stromes auf der blanken Quecksilberoberfläche ein schwacher mattgrauer Belag bildet, der vermuthlich aus Quecksilberoxyd besteht. Es muss, da dieses Häutchen den genauen Contact erschwert, durch regelmässiges Abpinseln der Oberfläche dafür gesorgt werden, dass immer genau dieselben Substanzen, Quecksilber und Stift, den Contact und Kettenschluss herstellen.

Ein zweites Bedenken wäre die Frage nach der feuchten Kammer, bekanntlich eine Veranstaltung, das Austrocknen des Präparates zu verhindern. An dem Gebrauch dieser umständlichen Anordnung wurde ich durch die Länge des Troges und die häufig nöthige Lageveränderung des Nerven gehindert. Doch wurde stets durch reichliches Betropfen des ganzen Präparates mit 6 % Kochsalzlösung dafür Sorge getragen, dass eine Veränderung der Reizbarkeit durch Wasserverlust unmöglich war.

Endlich liesse sich noch einwenden, dass bei den verschiedenen Lagen des Nerven nicht immer die gleiche Strecke den Wirkungen des Stromes ausgesetzt gewesen sei. Dies ist freilich richtig, bei den schieferen Lagen befand sich eine grössere Strecke des Nerven in der Lichtung des Troges, als bei den mehr queren. Allein man darf wohl annehmen, dass stets an ein und derselben Stelle, an der empfindlichsten nemlich, der Reiz seine Wirkungen entfalte. Dass nun diese reizbarste Nervenstelle bei allen Lagen dem Strome ausgesetzt gewesen, wird mehr als wahrscheinlich, durch die Regelmässigkeit der sogleich mitzutheilenden Resultate selbst. Ist doch in fast allen Versuchen die dem Winkel 90° entsprechende Ordinate mehr als 10mal, oft 20 und 30 mal so gross, als die der Abscisse 34 zugehörige. Man kann doch unmöglich annehmen, dass solche Unterschiede durch ungleiche Reizbarkeit der einzelnen Nervenstellen bedingt seien.

Gehen wir nun zu den Versuchen selbst über. Im ersten derselben waren die Ein- und Austrittsstellen das Nerven bezogen auf den Boden des Kästchens

für die 1 Lage	55	—	85
„ „ 2 „	60	—	80

für die	3	Lage	65	—	75
„ „	4	„	$67_{,5}$	—	$72_{,5}$
„ „	5	„	70	—	70
„ „	6	„	$72_{,5}$	—	$67_{,5}$
„ „	7	„	75	—	65
„ „	8	„	80	—	60
„ „	9	„	85	—	55

In der oben bereits angedeuteten Art sind nun die Winkel dieser Lagen gegen die Längsaxe des Troges bestimmt und für die ganze folgende Versuchsreihe mit wenigen Ausnahmen beibehalten worden.

Eintrittsstelle	Austrittsstelle	gef. Winkel
55	85	34^0
60	80	45^0
65	75	63^0
$67_{,5}$	$72_{,5}$	76_0
70	70	90^0
$72_{,5}$	$67_{,5}$	104^0
75	65	117^0
80	60	135^0
85	55	146^0

Die Bestimmung der zur Auslösung einer minimen Muskelzuckung gebrauchten Stromstärke wurde stets ein- oder mehreremale wiederholt, und das Mittel aus den einzelnen Bestimmungen in die Tabellen geschrieben. Ausserdem wurde durch jeweiliges Umlegen der Wippe eine zweite Zahlenreihe gewonnen, welche das Verhalten des Nerven einem in umgekehrtem Sinne fliessenden Strome gegenüber illustrirt. Nach dem Gesagten wird das folgende Täfelchen, das den Versuch Nro. I in übersichtlicher Darstellung zeigt, verständlich sein; allenfalls wäre noch zu erwähnen, dass ↗ im Nerven aufsteigend, ↘ im Nerven absteigend zu bedeuten hat.

Versuch No. 1.

Mittel aus 2—3 Bestimmungen in Rollenabständen.			Mittel der Stromstärke.		
34^0	↗ 17,6	↙ 18,0	. .	↗ 10,5	↙ 9,5
45^0	16,9	18,9	. .	11,3	8,2
63^0	14,3	16,6	. .	15,5	11,5
76^0	12,4	12,7	. .	29,2	27
90^0	5,2	7,1	. .	420,0	180
104^0	11,7	12,7	. .	35	27
117^0	14,6	15,4	. .	17,9	15,1
135^0	16,7	19	. .	11,8	8,0
146^0	17,2	20,5	. .	10,8	6,3

Von den folgenden Versuchen, die mit ganz geringen Abweichungen nach dem Schema dieses ersten angestellt sind, sollen um der Kürze der Darstellung willen nur die Endresultate, d. h. die jeweils gebrauchten Stromstärken neben die Winkel geschrieben werden, unter denen der betreffende Strom den Versuchsnerv kreuzt.

Versuch No. II.			Versuch No. III.		
34°	↗ 11,3	↙ 11	↗ 10,1	↙ 14,2	Zu beiden Versuchen ist dasselbe Präparat benutzt worden.
45°	12	13,5	12,6	14,9	
63°	17	21	20,5	23,2	
76°	33	36	39,7	40,5	
90°	335	210	410	360	
104°	36	48	40,5	52,7	
117°	20	25	24	33	
135°	14,5	19	13,4	24	
146°	9,2	14	8,3	20	

Versuch No. IV.			Versuch No. V.		
34°	↗ 3,9	↙ 6,3	↗ 21,4	↙ 10,3	
45°	5,8	7,7	16,0	12,2	
63°	7,3	10,1	20,5	11,5	
76°	13,5	23,5	31	24	
90°	70	90,1	33	28	
104°	18,5	28,0	26,3	14,6	
117°	8,6	12,2	17	11	
135°	4,7	8,4	14,5	12,5	
146°	4,5	9,3	32	8,1	

Versuch No. VI.			Versuch No. VII.		
34°	↗ 8,6	↙ 16,3	↗ 4	↙ 5,7	
45°	13,3	17,1	5,4	7,1	
63°	13,6	22	6,7	8,3	
76°	30	50	8,5	13,6	
90°	240	180	58	52	
104°	20,7	40	16	20,3	
117°	14,6	23	7,6	11	
135°	12,1	18	4,7	7,1	
146°	7,3	16	3,7	5,9	

Versuch No. VIII.			Versuch No. IX.	
34°	↗ 0,7	↙ 3.2	↗ 3,2	↙ 3,1
38°,5	1,02	5,4	3,4	3,7
45°	4,8	8,7	3,8	4,0
53°	5,2	9,8	5,3	4,6
63°	8,6	12,0	9,2	6,4
76°	15,5	15,3	15,7	10,3
90°	50	60	48	60,1
104°	14,6	15,8	15,7	14,4
117°	9,15	11,3	10,1	9,3
127°	6,6	11,1	6,4	6,4
135°	4,55	8,7	4,8	4,6
141°,5	4,6	8,4	—	—
145°	3,3	8,0	3,8	4,7

Versuch No. X.			Versuch No. XI.			
34°	↗ 32,5	↙ 30	34°	↗ 6,2	↙ 7,9	In No. X. ist am Schluss des Versuches die Bestimmung der Stromstärke bei völlig querer Durchströmung wiederholt. Wie man sieht hat sich im Nerv oder in den Apparaten etwas verändert.
45°	24 S. Zuck.	14	45°	7,9	10,1	
63°	37	22	53°	11,3	13,4	
76°	53	35	63°	14,6	18,1	
90°	160	90	76°	29	27	
104°	70	38	90°	340	190	
117°	53	29	104°	32,5	40	
135°	30	16	117°	14,5	20	
146°	38	50	127°	11,5	16	
90°	600°	300	135°	8,7	12,4	
			146°	7,3	10,6	

Versuch No. XII.		
34°	↗ 14,9	↙ 9,0
45°	16	14,2
53°	16,8	14,4
63°	17,5	20
76°	36	30,2
90°	230	220
104°	21,5	24,0
117°	19,3	17,3
127°	16	12,7
135°	15,2	14,2
146°	18,5	8,7

Fassen wir jetzt das Ergebniss aller vorliegenden Versuche mit einem Blick zusammen, so kann es uns nicht entgehen, dass trotz einzelner Unregelmässigkeiten im Grossen und Ganzen sämmtliche Zahlenreihen nach einem Typus aufgebaut sind. Die Zahlen wachsen, so lange der Winkel zwischen 34^0 und 90^0 liegt und fangen wieder an abzunehmen, sobald der Winkel grösser als 90^0 geworden ist. Es heisst dies in andern Worten, die Stromstärke, welche zum Auslösen einer Muskelzuckung genügen soll, muss um so grösser sein, je weniger schräg, je senkrechter er auf den Versuchsnerven auftrifft. Schon eingangs ist erwähnt worden, dass dies ein längst bekannter und anerkannter Satz ist. Es wird daher der Leser mit Recht erwarten, dass aus der vorliegenden Arbeit noch etwas anderes gefolgert werden soll. Und in der That, ein genaueres Studium der Zahlenreihen lässt uns noch eine Bemerkung machen. Während der Winkel um so ziemlich dieselbe Grösse, um 11^0, 18^0, 13^0, 14^0, wächst, nehmen die Stromstärken höchst ungleichmässig zu, anfangs kaum merklich, z. B. im Versuch Nro. II um 0,7, in Nro. III um 0,3, später dagegen in ganz rapiden Verhältnissen, so dass der Sprung der Stromstärken oft mehr als das 10fache der Summe aller bisherigen Aenderungen beträgt, während sich der Winkel nur um 14^0, etwa das Mittel aus den bisherigen Aenderungen, vergrössert hat. Offenbar geht hieraus mit Bestimmtheit hervor, dass ein kleiner Fehler beim Experimentiren, bei der Bestimmung der Nervenlage, ja ein nicht ganz paralleler Verlauf der Nervenfäden untereinander von ganz colossaler Wirkung sein muss, sobald es sich um annähernd quere Durchströmung handelt. Wir sind demnach fast gezwungen, die völlig quere Durchströmung, die freilich practisch niemals ausführbar ist, für unwirksam zu halten, da ja ein solch asymptotischer Verlauf der Zahlenreihen für den idealen Winkel 90^0 die Ordinate ∞ erwarten liesse.

Durch graphische Darstellung der experimentell gefundenen Punkte und Interpolation der übrigen bekommt man nun, wie leicht ersichtlich, eine Curve, die aus zwei nahezu geradlinigen und einem stark gekrümmten Stück besteht; der Theil der Curve, welcher den Winkeln nahe um 90^0 entspricht, schmiegt sich der Ordinatenaxe mehr oder weniger an, um sie je nach dem verschiedenen Ausfall der Experimente in verschiedener Höhe zu schneiden.

Der Wunsch, diese regelmässig wiederkehrende Erscheinung auf einen mathematischen Ausdruck zu bringen, würde auch, abgesehen von den früheren Versuchen das „Cosinusgesetz" zu beweisen dazu auffordern, die durch Experimente gewonnenen Curven mit Functionen zu vergleichen, welche für $x = 0$ a und für $x = 90$ ∞ werden. Da in unserem Falle

die vaniobele Grösse ein Winkel ist, so dürfte allerdings die Erörterung der Function $y = \frac{p}{\text{Cos } x}$ am nächsten liegen.

Zu dem Ende berechnen wir den Parameter einer Curve $\frac{p}{\text{Cos } x}$ oder was dasselbe ist p. sec. x, die durch einen der Experimentpunkte geht und construiren, nach Multiplication dieser Grösse p mit den Werthen von sec 20^0, sec 40^0, sec 60^0 u. s. w. und Eintragen der Resultate in eine Karte, im Uebrigen die Curve aus freier Hand. Um jedoch von den Fehlern einer einzigen Beobachtung möglichst unabhängig zu sein, empfiehlt es sich, für jeden der vier Beobachtungspuncte den entsprechenden Curvenparameter zu suchen und das Mittel aus den so gewonnenen vier Werthen zur Berechnung der Vergleichscurve zu benützen. Die Berechnung eines solchen Parameters im Versuch Nro. I z. B. stellt man folfolgendermassen an.

$$\begin{aligned} p_{,} \quad &\sec 34 = 10{,}5 = p_{,} \quad 1{,}2 \\ p_{,,} \quad &\sec 45 = 11{,}2 = p_{,,} \quad 1_{,4} \\ p_{,,,} \quad &\sec 63 = 15{,}5 = p_{,,,} \quad 2{,}2 \\ p_{,,,,} \quad &\sec 76 = 29{,}2 = p_{,,,,} \quad 4{,}1 \end{aligned}$$

also ist

$$\left.\begin{aligned} p_{,} &= \frac{10{,}5}{1{,}2} = 8{,}75 \\ p_{,,} &= \frac{11{,}3}{1{,}4} = 8 \\ p_{,,,} &= \frac{15{,}5}{2{,}2} = 7 \\ p_{,,,,} &= \frac{29{,}2}{4{,}1} = 7{,}1 \end{aligned}\right\} \text{ als Mittel findet sich } p = 7{,}6$$

Mit diesem Parameter p = 7,6 wird nun eine Secantencurve hingezeichnet, wie auf der beiliegenden Fig. 1 in der ausgezogenen Curve zu sehen ist. Ganz analog wird aus den beobachteten Stromstärken für die Winkel zwischen Nerv und Stromrichtung 90^0 — 146^0 ein Parameter = 8,5 berechnet und mit dessen Hülfe der rechts ersichtliche ausgezogene Ast ausgeführt. Natürlich darf man zur Berechnung der Parameteren den Beobachtungswerth für x = 90 nicht benützen, da $p_5 = \frac{420}{\sec 90} = \frac{420}{\infty}$ zu dem unbrauchbaren Resultat $p_5 = 0$ führen würde.

Wie die Fig. I zeigt, fallen die vier mit Sternchen bezeichneten Punkte, die den durch Versuch wirklich bestimmten Stromstärken entsprechen, auf

beiden Seiten des Blattes sehr annähernd mit der Curve $\frac{p}{\text{Cos } x}$ zusammen. Links liegen 2 Punkte ein weniges über, die beiden andern ebensowenig unter der Vergleichscurve; rechts liegt ein Punkt über und drei unter der Secantenlinie. Der fünfte Punkt des Versuches, der beiden Hälften gemeinsam gehört und bei 420 in die Ordinatenaxe fallen würde, vollendet die überraschende Aehnlichkeit zwischen der bildlichen Darstellung von $\frac{p}{\text{Cos } x}$ und den zur Curve engänzten 5 Punkten des Versuches.

Obwohl wir also, wenigstens für diesen Versuch, kaum hoffen dürfen, eine andere noch ähnlichere Function mit asymptotischem Verlauf aufzufinden, so wird es doch nicht ohne Interesse sein, den Vergleich auf einige andere derartige Functionen auszudehnen.

Am nächsten liegen hier wohl Functionen $\frac{1}{\text{Cos } x^2}$ und $\frac{1}{\sqrt{\text{Cos } x}}$ Auch zu ihrer Darstellung müssen wir erst die Einheit, d. h. den Parameter und zwar für beide Aeste je einen, also im Ganzen deren viere berechnen. Um nicht zu ermüden, will ich ohne weitere Erläuterung in gedrängter mathematischer Form die Berechnung von p_2 für $\frac{1}{\text{Cos } x^2}$ und von p_3 für $\frac{1}{\sqrt{\text{Cos } x}}$ je einmal aufführen.

$$p' \quad \frac{1}{\text{Cos } 34^2} = 10{,}5 \qquad p' = \frac{10{,}5}{1{,}2^2} = \frac{10{,}5}{1{,}4} = 7{,}5$$

$$p'' \quad \frac{1}{\text{Cos } 45^2} = 11{,}3 \qquad p'' = \frac{11{,}3}{1{,}4^2} = \frac{11{,}3}{1{,}96} = 5{,}6$$

$$p''' \quad \frac{1}{\text{Cos } 63^2} = 15{,}5 \qquad p''' = \frac{15{,}5}{2{,}2^2} = \frac{15{,}5}{4{,}84} = 3{,}2$$

$$p'''' \quad \frac{1}{\text{Cos } 76^2} = 29{,}2 \qquad p'''' = \frac{29{,}2}{4{,}1^2} = \frac{29{,}2}{16{,}8} = 1{,}7$$

also das Mittel ist $p_2 = 4{,}5$

und analog als Mittel zwischen den Einzelparameteren, die aus den rechts von der Ordinatenaxe CD gelegenen Beobachtungspunkten genommen sind,

$$p_2 = 4{,}8$$

Zur Darstellung der Function $\frac{1}{\sqrt{\cos x}}$ berechnet man die Einheit p_3

$$p' \quad \frac{1}{\sqrt{\cos 34}} = 10{,}5 \qquad p' = \frac{10{,}5}{\sqrt{1{,}2}} = \frac{10{,}5}{1{,}095} = 9{,}6$$

$$p'' \quad \frac{1}{\sqrt{\cos 45}} = 11{,}3 \qquad p'' = \frac{11{,}3}{\sqrt{1{,}4}} = \frac{11{,}3}{1{,}183} = 9{,}5$$

$$p''' \quad \frac{1}{\sqrt{\cos 63}} = 15{,}5 \qquad p''' = \frac{15{,}5}{\sqrt{2{,}2}} = \frac{15{,}5}{1{,}483} = 10{,}4$$

$$p'''' \quad \frac{1}{\sqrt{\cos. 76}} = 29{,}2 \qquad p'''' = \frac{29{,}2}{\sqrt{4{,}1}} = \frac{29{,}2}{2{,}025} = 14{,}4$$

das Mittel $p_3 = 10{,}97$ oder abgerundet $= 11$.

Für den absteigenden Curvenast findet man analog $p_3 = 12{,}3$.

In der Figur I findet man die mit diesen Parameteren als Einheit construirten Curven. Natürlich werden verhältnissmässig nur wenig Punkte durch Multiplication der Constanten mit dem Quadrat respective der Wurzel von sec 0^0, sec 20^0, sec 40^0 u. s. w. festgestellt und dann aus freier Hand die Curven durch diese Punkte hindurchgelegt. Die gestrichnete Linie soll $\frac{p_2}{\cos x^2}$ die punktirte $\frac{p_3}{\sqrt{\cos x}}$ versinnlichen. Schon auf den ersten Blick sieht man, dass diese Linien weit weniger Aehnlichkeit mit der Krümmung der durch die Versuchspunkte zu legenden Curve haben, dass mithin die *du Bois-Reymond*'sche Vermuthung bedeutend an Interesse gewinnt. Man könnte natürlich der Vergleichsobjecte noch manche bringen; doch wollen wir uns damit begnügen, hier noch eine hyperbolische Function $y = c. \frac{90}{90 - x}$ in den Kreis der Besprechung zu ziehen. Wiederum gilt es zunächst, den Werth der Constanten c zu ermitteln und zwar wie oben als Mittelwerth aus mehreren Experimentzahlen.

$$c_{,} \quad \frac{90}{90-34} = 10{,}5 \qquad c_{,} = 30{,}5\,\frac{56}{90} = 6{,}5$$

$$c_{,,} \quad \frac{90}{90-45} = 11{,}3 \qquad c_{,,} = 11{,}3\,\frac{45}{90} = 5{,}65$$

$$c_{,,,} \quad \frac{90}{90-63} = 15{,}5 \qquad c_{,,,} = 15{,}5\,\frac{27}{90} = 4{,}65$$

$$c_{,,,,} \quad \frac{90}{90-76} = 29{,}2 \qquad c_{,,,,} = 29{,}2\,\frac{14}{90} = 4{,}54$$

also der Mittelwerth $c = 5{,}3$.

Zur Berechnung einiger Ordinaten der hyperbolischen Vergleichscurve genügen folgende Gleichungen:

$$5{,}3\,\frac{90}{90-0} = 5{,}3 \qquad 5{,}3\,\frac{90}{90-70} = 23{,}8$$

$$5{,}3\,\frac{90}{90-20} = 6{,}8 \qquad 5{,}3\,\frac{90}{90-80} = 47{,}7$$

$$5{,}3\,\frac{90}{90-40} = 9{,}5 \qquad 5{,}3\,\frac{90}{90-85} = 95{,}4$$

$$5{,}3\,\frac{90}{90-60} = 15{,}9$$

Die so erhaltenen Zahlen entsprechen einer Curve, die der $\frac{p}{\cos x}$ Linie zu nahe liegt, um sich ohne Verwirrung der Zeichnung ausführen zu lassen. Es ist selbstverständlich, dass auch dieser hyperbolischen Curve die an der kritischen Stelle, dem Orte stärkster Krümmung, mit der Secantenlinie fast zusammenfällt, die Experimentencurve sehr ähnlich sein muss. Jedoch genügt eine etwas genauere Betrachtung unserer Fig. I, um wahrzunehmen, dass die Secontencurve im Ganzen sich doch noch inniger den Experimentpunkten anlegt, als ihre nahe Nachbarin.

Auch in der zweiten Figur, welche die Resultate der zweiten Zahlenreihe aus Versuch Nr. II, also die Wirkungen eines im Nerven absteigenden Stromes versinnlicht, ist auf der linken Hälfte die hyperbolische Curve c. $\frac{90}{90-x}$ zum Vergleich benutzt. Auch diesmal stimmt sie — durch grüne Farbe kenntlich gemacht — mit der Experimentallinie sehr genau, jedoch nicht so vollständig überein, wie die ihr ausserordentlich ähnliche Secantencurve. Selbst wenn übrigens in einzelnen Fällen die hyperbolische Curve sich den Versuchsdatis am genauesten anschlösse, würde doch die Function $\frac{p}{\cos x}$ eine sehr genaue Darstellung der Reizbarkeit des Nerven mittels eines ihn schräg durchfliessenden Stromes sein; denn, wie wir sahen, fällt ja die hyperbolische Curve zwischen den im Versuch allein in Betracht kommenden Abscissenwerthen (34—76) fast genau mit der Secantencurve zusammen. Man könnte also wohl sagen: Ein den Nerven schräg durchfliessender Strom wirkt auf ihn reizend so, als ob ihn der Länge nach ein Strom durchflösse, dessen Stärke diejenige der in die Richtung des Nerven fallenden Componente des wirklich vorhandenen schrägen Stromes wäre. Es wäre das, wenigstens soweit die Genauigkeit in physiologischen Messungen überhaupt reicht, der vollständige Ausdruck des Sachverhaltes. Es soll damit aber keineswegs gesagt sein, dass der Zerlegung des Stromes in zwei Componenten nach dem Schema des Kräfteparalellogramms bei der Nervenregung eine reelle Bedeutung zukomme.

Zum Schluss noch eine kurze Betrachtung! Wir haben im Laufe dieses Aufsatzes uns durchschnittlich auf die Erörterung der günstig ausgefallenen Versuche beschränkt. Sind nun, so müssen wir uns jetzt fragen, die Abweichungen in den weniger gelungenen Versuchen nicht so gross, dass die Annahme unvermeidlicher Beobachtungsfehler zur Erklärung unzureichend wird? Zur Beantwortung dieser Frage wollen wir den ersten aufsteigenden Curvenast des Versuches Nro. IV darstellen. Die Berechnung liefert:

p. sec 0 = 3,5
p. sec 20 = 3,7
p. sec 40 = 4,5
p. sec 60 = 7
p. sec 70 = 10,2
p. sec 80 = 20,1
p. sec 85 = 40
p. sec 87 = 66,8
p. sec $87^0,5$ = 80,1

In Figur III ist diese Zahlenreihe in Form einer Curve (punktirt) sichtbar gemacht. Die Versuchsdata sind also Ordinaten 3,9; 5,8; 7,3; 13,5; $70,^0$ auf die Abscissen 34, 45, 63, 79, 90 aufgetragen. Legen wir uns jetzt folgende Frage vor: Welcher Abscisse würde die Ordinate 70 entsprechen, wenn die immerhin noch beträchtliche Aehnlichkeit zwischen Secanten- und Experimentencurve vollkommen wäre, oder anders ausgedrückt, wie gross müsste der Fehler sein, um statt des Werthes ∞ den kleinen Werth 70 zu liefern? Die Zeichnung und Berechnung antworten hierauf übereinstimmend, die fragliche Abscisse ist 87, also der der Winkelfehler 3^0. Nun wäre freilich ein Fehler von 3^0 ganz exorbitant gross, wenn es sich z. B. um Ablesung eines Nonius handelte. Vergessen wir aber nicht, dass davon hier gar keine Rede ist, dass ein immerhin 1mm. Durchmesser besitzender Strang aus freier Hand über eine durch Glas und Wasser abzulesende Scala gelegt, endlich dass beträchtliche Fehlerquellen im uncontrollirbaren Verlauf der Einzelfäden innerhalb des Nerven selbst zu suchen sind, so wird man sich leicht überzeugen, dass Fehler bis zu 3^0 sich nicht immer werden vermeiden lassen. Einen handgreiflichen Beweis dieser Behauptung kann man sich auf folgende Weise verschaffen. Man zeichnet sich mit möglichst feinen Linien ein rechtwinkliges Dreieck, dessen eine Kathete = 9mm, dessen andere = 200mm. ist; man hat dann der kleineren Seite gegenüber einen Winkel von $2,^05$. Nimmt man jetzt den Nervus ischiadicus eines Frosches und versucht ihn nur mit Hülfe von 20mm. auseinander stehenden Punkten

auf die eine der *verdeckten* Linien zu legen, so wird man selbst bei einiger Uebung Fehlern bis zu 1 und 2 Grad nicht immer entgehen können. Berücksichtigen wir nun noch, dass im Nerven selbst sehr wohl Con- und Divergenzen der einzelnen Fäden unter Winkeln von 1 und 2 Grad möglich sind und dass immer die schiefer getroffenen Fäden eine Zuckung auslösen, eine Ausgleichung der Fehler gegenseitig also unmöglich ist, berücksichtigen wir dies Alles, so verlieren die scheinbar störenden Versuche den grössten Theil ihres Gewichts. Den Rest davon, hoffe ich, durch fernere Versuche und vervollkommnete Methoden vernichten zu können.

Zur Erläuterung der Zeichnungen.

Figur I.

Die Ordinatenaxe ist der (DC) grösseren Anschaulichkeit wegen in die Mitte der Figur gezeichnet. Die gesternten Punkte sind die experimentell gefundenen. Der fünfte würde bei 420 in die Axe CD fallen. Die schwarz ausgezogenen Curven rechts und links stellen die Function $\frac{p}{\cos x}$ dar. Die gestrichelten $\frac{p_2}{\cos x^2}$ die punktirten gezeichneten $\frac{p_3}{\sqrt{\cos x}}$. Das Ganze zur Darstellung des Versuches Nr. I erste Zahlenreihe, vom 8. VII. 75.

Figur II.

Versuch Nro. II. Zweite Zahlenreihe. Vom 9. VII. 75. Die Sternpunkte sind Versuchsdata Die schwarzen Curven, $\frac{p}{\cos x,}$ die gestrichelten,, $\frac{p_2}{\cos x^2}$ die punktirten $\sqrt{\frac{p_3}{\cos x}}$ und endlich die aus Strichen und Punkten zusammengesetzte c. $\frac{90}{90-x.}$

Figur III

Versuch Nr. IV, erste Columne, vom 12. VII. 75. Die gesternten Punkte sind wie gewöhnlich Versuchsdata. Die punktirt gezeichnete Curve stellt $\frac{p}{\cos x}$ dar.

Figur IV.

Versuch Nr. XI, beide Columnen combinirt und je das Mittel aus zwei sich entsprechenden Tabellen als Ordinate aufgetragen. Die gesternten Punkte sind Versuchsdaten. Der fünfte würde bei 34,0 in die Axe der Ordinaten fallen. Die gestrichelte Curve illustrirt $\frac{p}{\cos x}$ und die punktirte c. $\frac{90}{90-x.}$

THESEN.

I.

Die Thoracocentese zur Entleerung eines Exsudates ist weniger gefährlich, als die langsame Resorption eines solchen.

II.

Blutung aus einem Ohr ist kein Beweis für fractura bascos cranii.

III.

Die Carbolsäure ist als Antisepticum der Salicylsäure vorzuziehen.

IV.

In fieberfreien Gegenden ist das Schlafen bei offnen Fenstern durchaus ungefährlich und empfehlenswerth.

LEBENSLAUF.

Am 22. Februar 1852 bin ich zu Marburg geboren. Mein am 31. December 1868 verstorbener Vater war Professor der Anatomie. Ich wurde in der lutherischen Confession erzogen. Den ersten Unterricht genoss ich in der Bürgerschule meiner Vaterstadt. Die Vorbereitung für das Gymnasium erhielt ich bei Herrn Pfarrer Schaub in Altmorschen. Von Ostern 1865 bis Ostern 1868 machte ich die Untertertia bis Untersecunda incl. auf dem Gymnasium zu Cassel, die übrigen Classen von Ostern 1868 an auf dem Gymnasium zu Hersfeld durch Daselbst bestand ich auch das Maturitätsexamen im August 1870. Der Krieg unterbrach auf etwa 1 Jahr meine Studien, die ich erst im Juni 1871 in Würzburg wieder aufnehmen konnte. Ich besuchte als studiosus medicinae vier Hochschulen in folgender Reihe:

Würzburg von Juni 1871 bis Ostern 1872.
Zürich von Ostern 1872 bis November 1873.
Marburg von November 1873 bis Ostern 1874.
Freiburg von Ostern 1874 bis Ostern 1875.
Würzburg von Ostern 1875 bis Herbst 1875.
Freiburg von Herbst 1875 bis Januar 1876.

Das Tentamen physicum bestand ich in Würzburg, März 1873. Die Approbationsprüfung beendigte ich 1876 in Freiburg.

Das Examen rigorosum legte ich am 22. Februar in Marburg ab.

Fig. I.

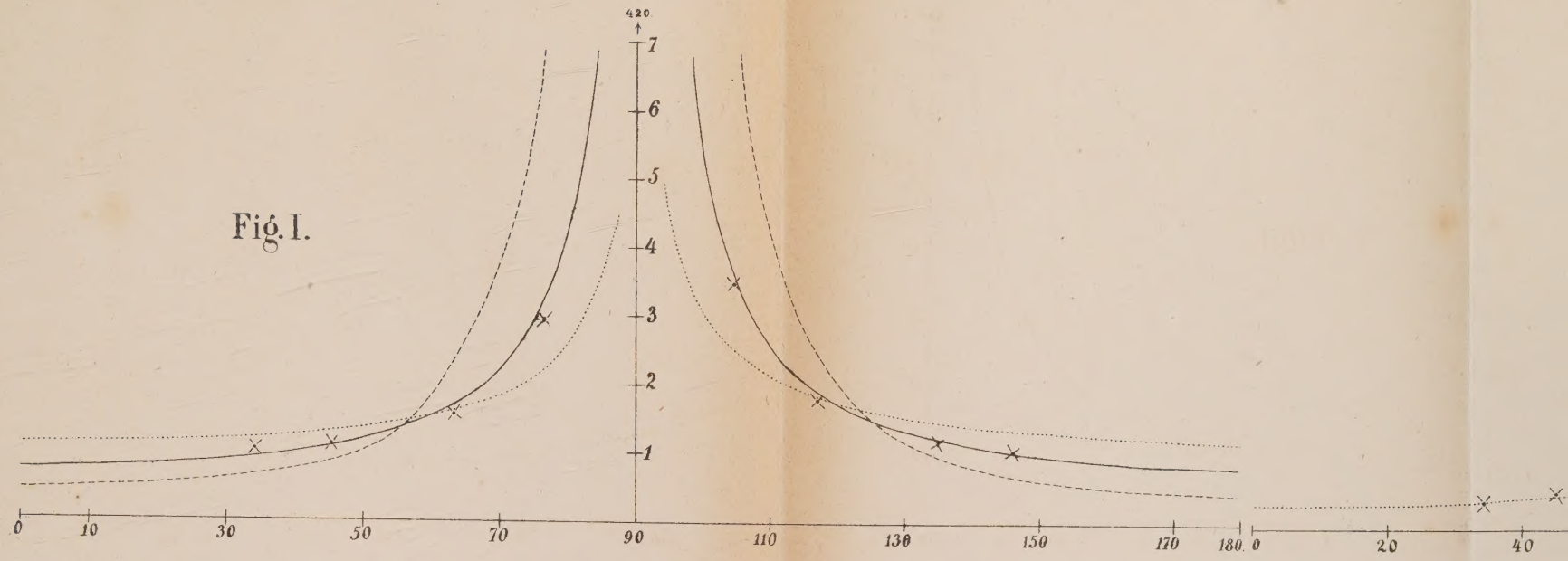
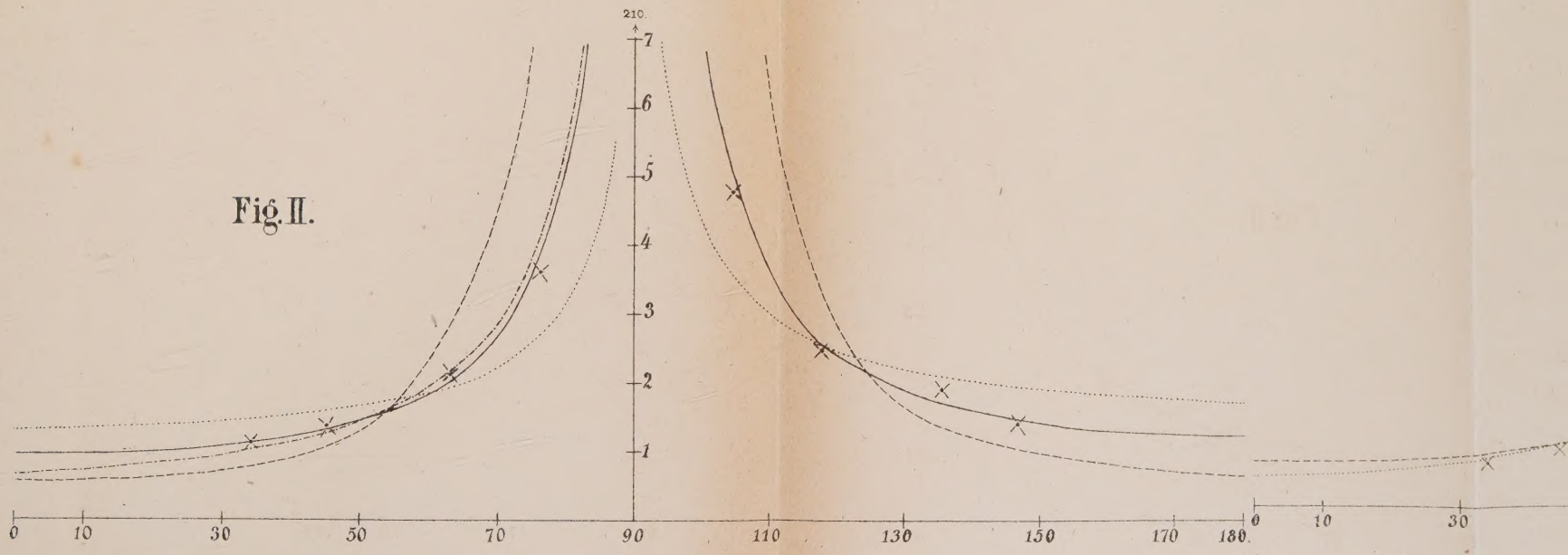

420
7
6
5
4
3
2
1
0
10
30
50
70
90
110
130
150
170
180.
0
20
40

Fig. II.


210.
7
6
5
4
3
2
1
0
10
30
50
70
90
110
130
150
170
180.
0
10
30